

PHÂN TÍCH ỨNG SUẤT, BIẾN DẠNG VÀ ỔN ĐỊNH CỦA HÀM NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Đào Văn Hưng¹

Tóm tắt: Khi xây dựng công trình thủy điện có hạng mục nằm ngầm trong lòng đất, đặc biệt là nhà máy ngầm với kích thước lớn cả theo chiều rộng và chiều cao, việc tính ứng suất, biến dạng của hầm nhà máy, cũng như tính toán ổn định đá xung quanh hầm là một trong những vấn đề mấu chốt cần chú ý trong quá trình thiết kế và thi công. Căn cứ vào địa hình, địa chất, quy mô công trình, cần bố trí, thiết kế công trình hầm nhà máy một cách hợp lý. Nội dung bài báo mô phỏng công trình ngầm trong quá trình thi công bằng phần mềm FLAC^{3D} để nghiên cứu trường ứng suất, biến dạng, chuyển vị trong kết cấu. Từ đó xác định khu vực dần dẽo của hầm nhà máy sau khi thi công, làm rõ quy luật phân bố của nơi tập trung ứng lực và nơi tiềm ẩn nguy cơ phá hoại của đá xung quanh hầm. Phân tích kết quả tính toán chỉ rõ tại lớp đứt gãy địa tầng, vị trí giao nhau các đường hầm là nhân tố chủ yếu ảnh hưởng đến ứng suất, biến dạng, ổn định của đá xung quanh hầm.

Từ khóa: Công trình thủy điện, hầm nhà máy, ổn định, chuyển vị, trường ứng suất.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở Trung Quốc, khi xây dựng các công trình thủy điện có công suất lớn, để đảm bảo sự an toàn, tăng tính ổn định cho công trình, đa số các nhà máy thủy điện đều được thiết kế đặt ngầm trong lòng đất. Tại Việt Nam cũng đã, đang xây dựng các công trình Thủy điện có nhà máy ngầm như: Hòa Bình, Ialy, Huội Quảng,... Việc tính toán thiết kế và thi công công trình thủy điện ngầm cũng gặp rất nhiều khó khăn, phải đối mặt với rất nhiều vấn đề về tính ổn định của môi trường đá tự nhiên khi xét đến sự phá vỡ trạng thái cân bằng ban đầu trong quá trình thi công, các đứt gãy địa tầng và khi kích thước hầm nhà máy lớn cả theo chiều rộng và chiều cao. Theo lý thuyết tính toán cổ điển vẫn đang được áp dụng ở Việt Nam, việc tính toán trong thiết kế nhiều khi mang tính chủ quan, không phản ánh được những điều kiện làm việc thực tế trong quá trình thi công cũng như vận hành sau này.

Do đó, cần nghiên cứu, tính toán một cách đầy đủ về ứng suất, biến dạng của đường hầm để biết được sự thay đổi của trường ứng suất tự nhiên trong quá trình thi công, điều kiện tương tác giữa công trình ngầm và môi trường thực, từ

đó có cơ sở trong tính toán thiết kế, thi công công trình ngầm trong tương lai như: nhà máy thủy điện ngầm, tàu điện ngầm, metro, kho ngầm, hầm quân sự,... khi quỹ đất ngày càng hạn hẹp ở Việt Nam.

2. NỘI DUNG TÍNH TOÁN

2.1. Lựa chọn phương pháp tính

Đối với một công trình ngầm đặt sâu trong môi trường tự nhiên sau quá trình thi công, các tải trọng tác dụng công trình hết sức phức tạp, không tuân theo điều kiện lý thuyết và trường ứng suất ban đầu nữa. Tính ổn định của đá xung quanh hầm, chủ yếu chịu ảnh hưởng của hai nhân tố sau đây:

- Ảnh hưởng của nhân tố hình thành địa chất, chất lượng của lớp đá và tính chất gián đoạn phiến đá, tính chất cơ học của đá, hình thái không gian đứt gãy, chỉ số chất lượng đá... là một trong những nhân tố quyết định tính ổn định của đá xung quanh hầm (Đào Văn Hưng, 2010; Nghiêm Hữu Hạnh, 2005; Võ Trọng Hùng, nnk, 2005).

- Ổn định của vỏ hầm phụ thuộc vào kích thước và hình dạng hầm, quá trình thi công, biện pháp gia cố và thời gian gia cố,... (Ceng Jing, nnk, 2006; Ceng Jing, nnk, 2007; ZhuWei Sheng, 2004).

¹ Khoa Công trình - Trường Đại học Thủy lợi.

Do công nghệ và kỹ thuật máy tính ngày càng phát triển, rất nhiều phần mềm tính toán kết cấu công trình sử dụng phương pháp số đã được áp dụng. Phần mềm có thể mô phỏng khối đất, đá không gian ba chiều và đặc tính cơ học khối vật liệu khác nhau, đặc biệt là đặc tính lưu biến đàn dẻo khi đạt đến trạng thái giới hạn, mở rộng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như đánh giá tính ổn định mái dốc, thiết kế và đánh giá gia cố công trình ngầm. Các phần mềm nổi tiếng như: ANSYS, DDA, 3DEC, FLAC^{3D}... (Ceng Jing, nnk, 2006; Ceng Jing, 2007; Ding Xiu Li, nnk, 2002). Trong bài báo này, tác giả sử dụng chương trình FLAC^{3D} tiến hành mô phỏng mô hình, số liệu tính toán đối với quá trình thi công hầm nhà máy, có đứt gãy địa tầng với biến dạng của đá, ảnh hưởng của phân bố đặc trưng ứng lực và khu đàn dẻo, đánh giá tổng hợp tính ổn định cục bộ và tổng thể của đá xung quanh.

2.2. Mô hình tính toán

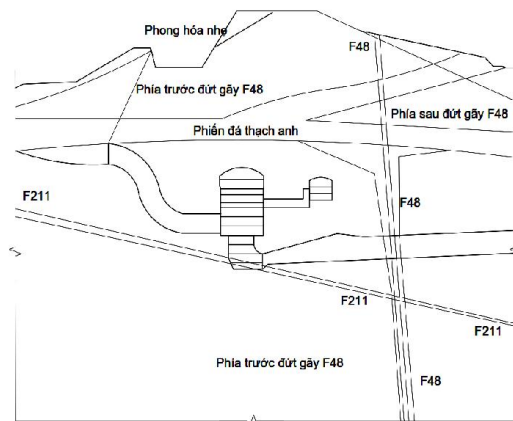
2.2.1. Khái quát công trình và điều kiện địa chất

Công trình ứng dụng được lựa chọn trong nghiên cứu là công trình thực tế ở tỉnh Quảng Tây, Trung Quốc, có 8 tổ máy. Công trình nhà máy ngầm, đường hầm dẫn nước, phòng điều hành chính,... nằm trong kiến trúc thể đá đô-lê-rit (diabasic). Tổng chiều dài nhà máy là 127,2m (bao gồm nhà máy phụ 14m), chiều rộng 27,5m, chiều rộng lưu không của phần trên cần trục là 30,8m, tỷ lệ khoảng trên vòm là 1/5, chiều cao lớn nhất là 76,67m, nhà máy phụ và phòng lắp đặt sắp xếp theo thứ tự bên trái và bên phải của nhà máy chính; phòng biến áp chính cách nhà máy chính về phía hạ lưu 32m, với chiều dài là 53,8m, chiều rộng là 16m.

Trong bài báo này nghiên cứu, tính toán với hai tổ máy số 5, số 6 vì có nhiều điểm đặc biệt về địa chất có đứt gãy nằm ngang và thẳng đứng; các tổ máy đều có đường hầm dẫn nước. Bên cạnh đó đường hầm dẫn nước tuyến cong, có mặt cắt ngang hình vòng cung, tường thẳng đứng, kích thước trước cửa đường hầm là 12,8m x 15,5m.

Khu nhà máy chủ yếu là đá đô-lê-rit cổ đại (β_1, μ_4), đá thạch anh cuối kỳ thâm nhập tạo thành phiến đá thạch anh (q) và đá đô-lê-rit phong hóa (Q, β_1, μ_4); đá xung quanh hầm nhà máy chủ yếu là đá đô-lê-rit hạt thô hoa cúc và hạt thô dài tạo thành, trên đỉnh vòm nhà máy có

xuất hiện các phiến đá thạch anh (Ceng Jing, nnk, 2006; Lu Shu Qiang, nnk, 2005). Địa chất nhà máy có đứt gãy địa tầng dốc ngược F48 và đứt gãy kiến tạo F211. Áp lực tác dụng lên khối đá to nhỏ không đều, cấu tạo bề mặt bất thường, không theo quy luật và kẹp chặt giữa các tầng đá đô-lê-rit. Cấu tạo khe nứt tương đối phát triển, đặc biệt là đứt gãy địa tầng và sự chèn ép trên lớp đá đứt gãy F48 với vùng lân cận, độ dốc và góc nghiêng khe nứt cùng phát triển, hình thành nhiều khe nứt. Hình 1 là hình khái quát điều kiện địa chất khu vực tính toán của công trình này.



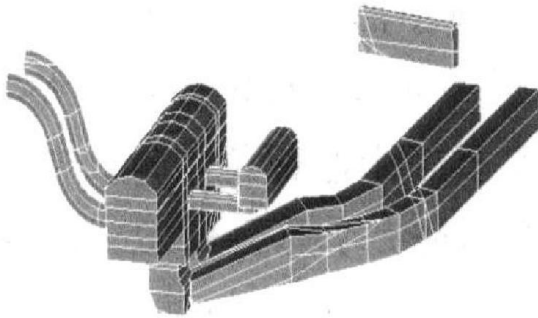
Hình 1. Mặt cắt địa chất khu vực tính toán

Đá xung quanh hầm nhà máy cứng, mức độ phong hóa thấp, tính năng cơ học tương đối cao, nhưng kích thước hầm lớn, đồng thời các cấu tạo đứt gãy F48, F211 và có các phiến thạch anh phát triển. Do đó, tính toán ứng suất, biến dạng, ổn định của đá xung quanh khi có điểm giao nhau của hầm, cùng sự bất lợi đối với cấu tạo địa chất là vấn đề rất được quan tâm trong tính toán thiết kế và thi công hầm nhà máy.

2.2.2. Mô hình tính toán Flac^{3D}

Bố trí kết cấu nhà máy ngầm hiển thị như hình 2, giới hạn biên khu vực tính toán dựa theo điều kiện địa hình của khu nhà máy, đồng thời đáp ứng lựa chọn yêu cầu hiệu ứng biên nhất định. Mô hình tính theo hệ trục XYZ, phạm vi tính toán là 395m x 420m x 410m, trong đó trục X từ thượng lưu về hạ lưu nhà máy, trục Y theo hướng thẳng lên, trục Z theo phương trục nhà máy, vị trí mặt cắt đường trung tâm tổ máy số 5 là Z=0, cao trình cao nhất khoảng 370m, cao trình thấp nhất là -100m. Khu vực tính toán sử dụng chu vi giới hạn theo 4 phương, phía mặt

đất tự do. Kết hợp số liệu ứng lực thực đo để tăng thêm vào trường ứng lực, hệ số theo phương nhà máy Z là 1,45, hệ số vuông góc X là 1,20, hướng thẳng đứng được áp đặt theo trường ứng lực trọng lượng khối đá phía trên. Khu vực tính toán bao gồm đường hầm dẫn nước, nhà máy chính, phòng lắp đặt, nhà máy phụ, đường hầm chính, phòng biến áp chính, hầm thoát nước, hành lang cửa công thoát nước, địa chất chủ yếu khu vực tính là đá đô-lê-rít.



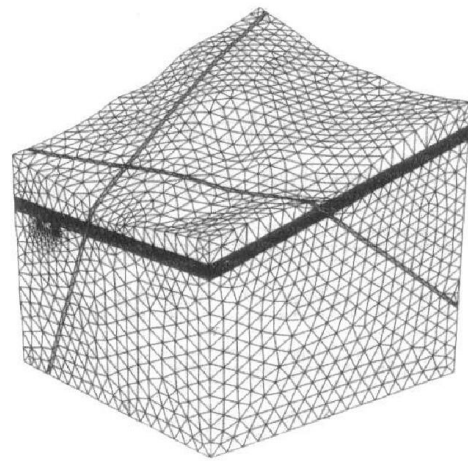
Hình 2. Tổng thể các hạng mục công trình tính toán

Trong mô hình tính toán FLAC^{3D} ba chiều áp dụng mô phỏng thực thể đơn của đá, đứt gãy địa tầng và mạch đá, trong đó độ dày của địa tầng đứt gãy F48 là 6m, độ dày F211 là 5m, độ dày phiến đá thạch anh là 20m. Trong phân tích, tác giả sử dụng mô hình vật liệu đàn dẻo Mohr - Coulomb, đặc trưng cơ lý của mỗi loại vật liệu ở bảng 1. Khu vực tính toán chia 153312 phần tử, tổng cộng 27233 điểm nút (xem hình 3).

Bảng 1. Đặc trưng cơ lý đá xung quanh

Tầng đá	Trọng lượng riêng (kN/m ³)	Hệ số ma sát	Lực ngưng kết (MPa)	Modul biến dạng (GPa)	Cường độ kháng kéo (MPa)	Hệ số Poisson
Đá đô-lê-rít	30,0	1,0	1,0	15	8,0	0,2
Đá thạch anh	28,5	0,9	0,8	10	6,0	0,25
Đứt gãy địa tầng F211	28,0	0,7	0,5	4,5	5,0	0,32
F48	19,0	0,45	0,1	0,8	0,0	0,35

Kết quả tính toán (Hình 4) cho thấy: biến dạng của đỉnh vòm nhà máy chính thường là từ 3,5 ÷ 7,4 mm, chuyển vị lớn nhất theo phương thẳng đứng xuống phía dưới là 4,39 mm, xảy ra ở vị trí trung tâm lắp đặt tổ máy số 5 với độ cao đá xung quanh đỉnh vòm 12m. Chuyển vị phía tường thượng lưu khoảng từ 7,5 ÷ 22,0mm, phía tường hạ lưu khoảng 5,0 ÷ 13,0 mm; tại cao trình 147m

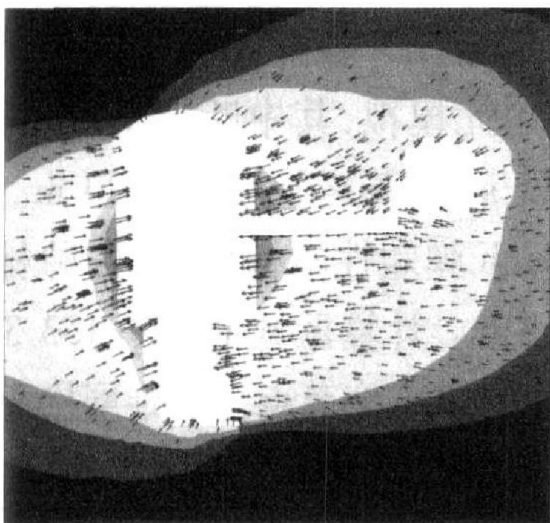


2.2.3. Phân tích kết quả tính toán

a) Đặc trưng biến dạng, chuyển vị

Quá trình thi công xây dựng công trình sẽ làm thay đổi kết cấu tự nhiên của đá xung quanh hầm nhà máy, phá vỡ trạng thái cân bằng ban đầu ảnh hưởng tới kết cấu chịu lực, chủ yếu bị biến đổi hướng vào bên trong hầm, đỉnh mái vòm chuyển vị xuống, đáy hầm đẩy nổi lên, tường hai bên sẽ nén vào trong. Khi thi công xong, chuyển vị đỉnh vòm và bên tường tăng nhanh phụ thuộc vào xu thế biến dạng của nhà máy và hầm hướng vào trong hầm, trong nhà máy ngầm. Nhà máy chính chịu đứt gãy của địa tầng F211, xuất hiện rõ biến dạng lớn ở nhiều nơi; biến dạng tại vị trí giao nhau của hầm cũng tương đối lớn; phiến đá thạch anh không ảnh hưởng lớn đến biến dạng đỉnh hầm.

của tường thượng lưu và cửa vào đường hầm số 6 nơi đứt gãy địa tầng F211 xuất hiện giá trị biến dạng lớn nhất là 22,56 mm. Biến dạng đàn hồi bản đáy ở vị trí đặt máy thường là 4,0 ÷ 8,0 mm, biến dạng lớn nhất là 8,0mm xuất hiện ở gần vị trí trung tâm tổ máy số 5. Biến dạng lớn nhất của tường nhà máy gần phòng lắp máy khoảng 6,22 mm, cửa tường nhà máy phụ khoảng 11,24 mm.



Hình 4. Phân vùng và véc-tơ chuyển vị mặt cắt trung tâm tổ máy số 5

b) Đặc trưng phân bố ứng suất

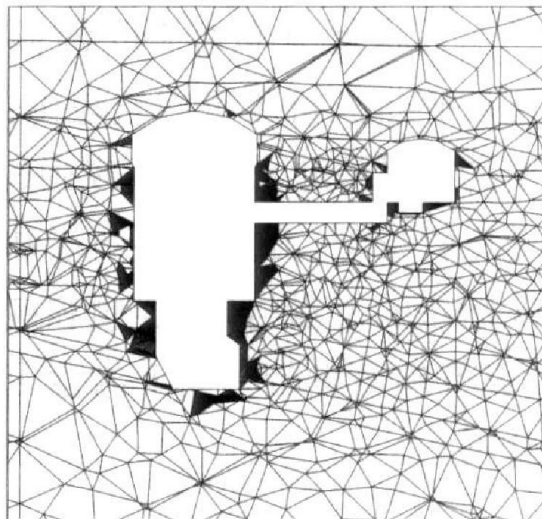
Sau khi đào hầm, trạng thái cân bằng tự nhiên thay đổi, nên trường ứng lực đá xung quanh biến đổi nhiều. Đỉnh vòm phía thượng lưu nhà máy số 5, số 6 xuất hiện ứng suất nén lớn nhất là 14,4 MPa, góc bản đáy xuất hiện ứng suất tập trung lớn nhất là 16,9 MPa. Ứng suất đá bên tường nhà máy chính giảm, khu vực ứng suất kéo của tường thượng - hạ lưu chủ yếu tập trung ở hầm lấy nước, vị trí giao nhau của hầm chính và vị trí cắt đứt gãy địa tầng F211, độ sâu kéo dài khoảng 5 ÷ 9,0 m, ứng suất kéo lớn nhất khoảng 1,3 MPa tại vị trí gần cửa vào trực hầm chính của tường hạ lưu.

Giá trị ứng suất nén bên tường thượng - hạ lưu là 3,0 ÷ 13,2 MPa, gần phòng lắp đặt là 3,0 ÷ 7,78MPa; tường nhà máy phụ là 4,0 ÷ 8,0 MPa.

c) Đặc trưng phân bố khu đàn dẽo

Sau khi hoàn thành thi công cụm công trình ngầm, phân vùng khu vực đàn dẽo của nhà máy chính, vị trí giao nhau giữa các đường hầm, đá xung quanh nơi giao tiếp đứt gãy địa tầng xuất hiện khác nhau. Độ sâu kéo dài của khu đàn dẽo phía bên tường thượng - hạ lưu nhà máy chính bình thường không vượt quá 10m, ở đỉnh hầm cơ bản không có khu đàn dẽo, bản đáy có xuất hiện nhưng rất ít. Độ sâu khu đàn dẽo trước sau tường nhỏ hơn 6m; đá xung quanh nhà máy gần 2/3 thuộc khu đàn dẽo, phía dưới quanh tổ máy khu đàn dẽo tương đối tập trung. Tính đàn dẽo của đá xung quanh nhà máy chính chịu phá

hồng chủ yếu lực cắt, một số ít bị phá hỏng bởi lực kéo. Trạng thái ứng suất xuất hiện cục bộ trên chu vi của đá xung quanh hầm nhà máy, trục chính đường hầm, hầm biến áp, độ sâu kéo dài theo phương trục chính hầm khoảng 6 m. Tường và bản đáy của hầm biến áp chính xuất hiện khu đàn dẽo có phạm vi nhất định, độ sâu kéo dài khoảng 2 ÷ 5m. Ngoài ra, điểm giao nhau giữa các hạng mục công trình ngầm nhà máy và đứt gãy địa tầng F48, F211 cũng là vị trí tập trung khu đàn dẽo.



Hình 5. Khu đàn dẽo mặt cắt tâm tổ máy số 5

3. KẾT LUẬN

(1) Sau khi thi công xong các hạng mục công trình nhà máy ngầm, đặc trưng của trường chuyển vị là đá xung quanh dịch chuyển theo hướng bề mặt tự do, biến dạng của đỉnh vòm lớn hơn chuyển vị lên của bản đáy, biến dạng lớn nhất xảy ra ở thượng - hạ lưu bên tường hầm. Khu nguy hiểm nhất sau khi thi công hầm xảy ra ở nơi giao cắt giữa đứt gãy địa tầng và trục hầm chính.

(2) Sau khi thi công hầm, xu hướng tổng thể của trường ứng suất đá xung quanh là phần đỉnh và đáy chịu ứng suất nén là chính, tường bên xuất hiện ứng suất kéo, hiện tượng ứng suất tập trung xuất hiện ở điểm giao nhau của hầm và đứt gãy địa tầng.

(3) Tính chất cơ học của phiến đá thạch anh có ảnh hưởng lớn đối với biến dạng của đỉnh hầm và có ảnh hưởng nhỏ đối với biến dạng của tường bên khi thi công. Do đá thạch anh phân bố ở trên các đỉnh hầm, mà khu ứng suất kéo,

khu đàn dèo chủ yếu phân bố ở phía dưới phần tiếp giáp. Tính chất cơ học phiến đá thạch anh giảm cũng không ảnh hưởng quy luật phân bố trường ứng suất khi thi công, cũng như không thay đổi nhiều đối với phạm vi phân bố vùng ứng suất kéo, vùng đàn dèo sau thi công.

(4) Đứt gãy địa tầng, đặc biệt là đứt gãy địa tầng nơi giao nhau của hầm là nhân tố chủ yếu ảnh hưởng đến tính ổn định của đá xung quanh

hầm nhà máy. Nơi giao nhau của đứt gãy địa tầng xuất hiện: chuyển vị tương đối lớn, có hiện tượng ứng suất tập trung và khu đàn dèo, do đó cần đặc biệt quan tâm trong quá trình thi công và gia cố công trình ngầm.

(5) Các kết quả tính toán ứng suất, chuyển vị công trình hầm nhà máy thủy điện trong bài báo này đều nằm trong giới hạn cho phép, đảm bảo điều kiện bền và ổn định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Nghiêm Hữu Hạnh, (2005), *Cơ học đá*, NXB Xây dựng, Hà Nội.

Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc, (2005), *Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

Đào Văn Hưng, (2010), *Phân tích ứng suất, biến dạng và ổn định hệ thống nhà máy thủy điện ngầm* (Luận án Tiến sỹ), Đại học Hà Hải - Trung Quốc. (Trung văn)

Ceng Jing, Sheng Qian, nnk, (2006), “*Số liệu mô phỏng quá trình thi công hầm nhà máy thủy điện bằng phần mềm Flac^{3D}*”, Tạp chí Cơ học công trình, Trung Quốc, số 27(4), tr.637-642. (Trung văn)

Ceng Jing, Sheng Qian, Tang Jin Chang, (2007), “*Phân tích so sánh các phương án bố trí hầm nhà máy thủy điện khi kết cấu địa chất phức tạp*”, Tạp chí Công trình và không gian ngầm, Trung Quốc, số 3(1), tr. 105-109. (Trung văn)

Ding Xiu Li, Sheng Qian, Wu Ai Qing, (2002), “*Tham số mô hình của Nhà máy thủy điện ngầm Yantan trong quá trình thi công và gia cố*”, Trung Quốc, 21(S), tr. 2162-2167. (Trung văn)

Lu Shu Qiang, Zhu Neng Pan, Xu Mo, nnk, (2005), “*Ảnh hưởng của chất lượng khối đá đến tính ổn định chu vi hầm ngầm*”, Tạp chí Trái đất & Môi trường, Trung Quốc, 33(S), tr.319-324. (Trung văn)

Zhu Wei Sheng, (2004), “*Nghiên cứu tính ổn định của hệ thống công trình ngầm quy mô lớn*”, Tạp chí Cơ học đá và công trình - Trung Quốc, 24(3), tr.484-489. (Trung văn)

Abstract:

ANALYSIS OF STRESSES, DEFORMATION AND STABILITY OF TUNNELS FOR HYDROPOWER PROJECTS

The excessive stress and deformation of the hydropower tunnel and the stability of its surrounding rocks are main indicators which should be taken into consideration in the designing and construction of hydropower plant projects, especially the large and high underground item plants. The underground items of the plant are designed and arranged basing on the topography, geology and scale of the project. Simulating the process of constructing the underground work by FLAC^{3D} to research stress field, deformation, and displacement so as to determine the elastic section of the tunnel clearly shows the rules of distributing the centralized stresses and the potential failure positions of the rocks surrounding the tunnel. Data analysis indicates that the locations of the tunnel junctions are the major element impacting to the excessive stress, deformation, and stability of the rocks surrounding the tunnel in the faults of stratigraphic layers.

Keywords: *hydropower projects, tunnels, stability, displacement, stress field.*

BBT nhận bài: 04/8/2016

Phản biện xong: 05/9/2016