

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.06181

缅甸 DAPEIN(I) 水电站岔管优化设计

罗 玮, 周 玮

(江西省水利规划设计院, 南昌 330029)

摘要: 根据缅甸 DAPEIN(I) 水电站压力管道段工程布置及地质条件, 选择埋藏式钢岔管和钢筋混凝土岔管两种岔管类型, 分别建立三维有限元数值模型, 从岔管位置的确定、岔管的体型设计、应力应变等方面进行分析。结果表明: 钢岔管围岩属 II 类, 相对较差、管壳及管壁应力较大, 焊接工艺复杂、施工制作困难、造价较高; 钢筋混凝土岔管围岩属 III 类, 采用对称 "Y" 型结构, 岔口附近应力集中, 双层配筋, 并对围岩进行固结灌浆及回填灌浆等措施。

关键词: 埋藏式钢岔管; 钢筋混凝土岔管; 水电站; 优化设计

中图分类号: TV 732.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0181-04

Optimization Design of Branch Pipe in DAPEIN (I) Hydropower Station

LU O Wei, ZHOU Wei

(Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Institute, Nanchang 330029, China)

Abstract: According to the engineering design and geological conditions of the pressure pipe in DAPEIN (I) hydropower station, two types of bifurcation pipes were chosen including the buried type steel bifurcation pipe and reinforced concrete bifurcation pipe. Three dimensional numerical analysis models were developed for both types of bifurcation pipes and model results were compared from the aspects of the bifurcation pipe position, bifurcation pipe size design, and stress and deformation. The results showed that the geological conditions of the reinforced concrete bifurcation pipe are II~ III wall rock, which is suitable for the layout of reinforced concrete branch pipe. However, the disadvantages of the steel bifurcation pipe included the poor geological conditions, complexity of welding technology, difficulty in construction, and high cost. The concrete branch pipe can use the "Y" type structure, and round treatment can be performed in the line of intersection. The tunnel can use the double reinforced concrete and the wall rock needs the consolidation grouting treatment.

Key words: buried type steel bifurcation pipe; reinforced concrete branch pipe; hydropower station; optimization design

岔管是大型水电站引水发电系统中的重要组成部分, 按材料可分为钢岔管和钢筋混凝土岔管两种类型。钢岔管防渗性能较好、适应性强, 但焊接工艺复杂、施工制作较困难^[1,2]; 钢筋混凝土岔管是围岩与钢筋混凝土联合承载的地下结构, 因其良好的力学性能和易于施工等原因, 被广泛应用于大型水电站地下结构中^[3]。本文针对缅甸 DAPEIN(I) 水电站两种不同结构型式岔管, 建立有限元数值分析模型, 分别从应力、变形、经济等方面开展研究。

1 工程概况

缅甸 DAPEIN(I) 水电站位于缅甸克钦邦境内紧邻中缅边境的太平洋江上。采用地面式厂房, 装机容量 $4 \times 60 \text{ MW}$, 共 240 MW 。引水发电系统包括两条隧洞, 一洞两机型式布置。引水建筑物由进水口、隧洞、调压室、岔管等组成。隧洞围岩的力学参数见表 1。

表 1 围岩材料力学参数

Table 1 The mechanical parameters of wall rock

岩层	变形模量 E/GPa	泊松比 μ	抗剪断摩擦系数 f'	抗剪断黏聚力 c'/MPa	密度 $\rho/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
$\text{II} - \text{III}$ 类围岩	2.0~ 2.5	0.30	0.61~ 0.65	0.31~ 0.35	26
III 类围岩	6.1~ 7.1	0.28	0.81~ 0.85	0.72~ 0.75	26
IV 类围岩	10.1~ 11.1	0.24	1.11~ 1.21	1.21~ 1.52	26

收稿日期: 2013-07-03 修回日期: 2013-09-22 网络出版时间: 2013-10-10
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20131010.1028.023.html>
作者简介: 罗 玮(1980-), 男, 江西吉安人, 工程师, 主要从事水工结构方面研究。E-mail: Luo807813@126.com

2 可研阶段岔管设计

缅甸 DAPEIN(I) 水电站可研阶段选择了钢岔管^[45], 岔管位于桩号引 3+ 233.166, 位于强风化岩体内。围岩覆盖厚度 20~ 30 m, 岩体完整性差, 呈镶嵌碎裂结构。钢岔管 HD 值为 980 mm, 采用对称“Y”型月牙肋加强结构, 分岔角为 70°, 岔管主管内径 6.8 m, 支管内径 4.8 m, 蜗壳进口处钢管内径 4.8 m, 钢岔管最大内水压力为 1.25 MPa。

2.1 计算模型

岔管是一个复杂的空间模型, 模型在主管和支管端部取固端全约束, 为了减小约束端的局部应力影响, 主、支管段轴线长度从公切球球心向上、下游分别取最大公切球直径的 1.5 倍。钢岔管的体型见图 1、图 2, 主要参数见表 2。

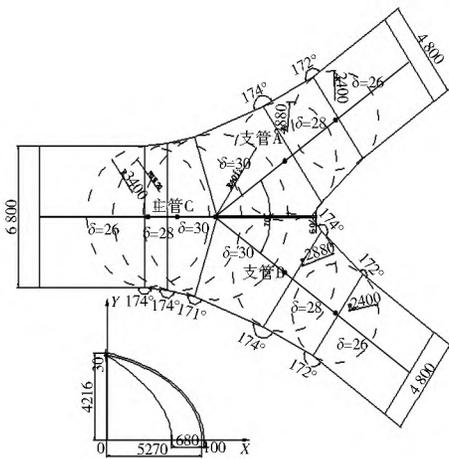


图 1 岔管体形图

Fig. 1 The body form of branch pipe

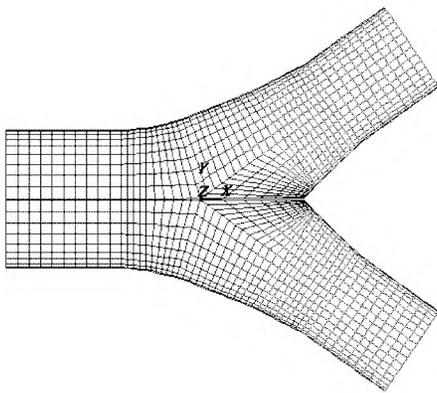


图 2 岔管管壳有限元网格

Fig. 2 The finite element of branch pipe

2.2 模拟结果及分析

管壳和肋板的 Mises 应力图分别见图 3、图 4。

(1) 从图 3、图 4 中可以看出, 月牙肋钢岔管管壳部分最大 Mises 应力为 224.60 MPa, 出现在钝角区母线转折处; 肋板最大 Mises 应力为 188.41 MPa, 都接近钢板允许最大应力值。

(2) 岔管满足应力、抗外压稳定要求, 但钢板 (30 mm) 及肋板 (90 mm) 厚度较大, 抗外压临界压力较大, 需采用加筋措施, 以保证结构安全。

表 2 对称“Y”形月牙肋岔管形体参数

Table 2 The main parameters of the symmetrical Y-shaped crescent rib branch pipe

位置	项目	参数值
主 锥 管 C	主管进口内半径/mm	3 400
	过渡管节公切球半径/mm	3 400
	基本管节公切球半径/mm	3 570
	最大公切球半径/mm	4 012
	过渡管节半锥顶角(°)	4
	基本管节半锥顶角(°)	10
	圆柱管节管壁厚度/mm	26
	过渡管节管壁厚度/mm	28
	基本管节管壁厚度/mm	30
	肋 管	肋板高/mm
肋板总宽/mm		6 307
断面最大宽度/mm		2 150
肋板宽/肋板高		1.53
断面最大宽度/肋板高		0.52
断面最大宽度/肋板总宽		0.34
肋板厚/mm		90
肋板厚/壳板厚		3
分岔角(°)		70

(3) 工程实践表明, 钢岔管施工工艺和质量直接影响到工程进度和安全, 对钢岔管焊接质量和焊缝检测严格要求, 避免焊接裂纹的产生。

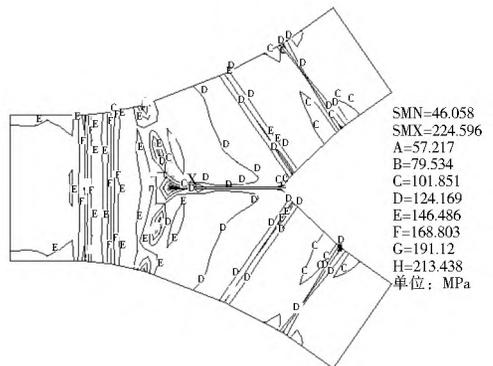


图 3 管壳 Mises 应力等值线

Fig. 3 Isolines of Mises stress in branch pipe

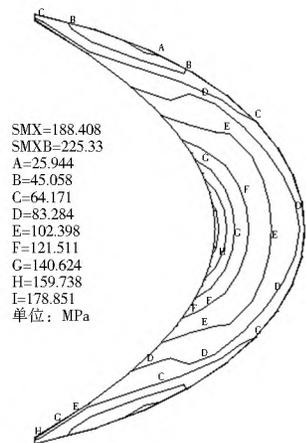


图 4 肋板 Mises 应力等值线

Fig. 4 Isolines of Mises stress in costalia

3 施工图阶段岔管设计

工程在施工图阶段,为了节约投资、降低施工难度、缩短工期,根据专家建议转而采用钢筋混凝土岔管型式,将分岔点放在调压井下游,岔管内径8~6 m,岔管后接斜井段、直线段及钢衬支管段。

钢筋混凝土岔管^[6]位于调压室下游弱微风化岩体内,桩号引3+048.072,埋深约60~80 m,岩体完整性较好;钢筋混凝土岔管采用对称“Y”型,主管内径8.0 m,支管内径6.0 m,分岔角为60°,岔管段衬砌厚度为1 m,支管衬砌厚度为50 cm,钢筋混凝土岔管最大内水压力为0.65 MPa。

3.1 计算模型及混凝土破坏准则

钢筋混凝土岔管结构计算模型:左右边界均取3倍开挖洞径,计算模型详见图5。衬砌混凝土破坏准则采用ANSY中W-W五参数准则。

缅甸 DAPEIN(I) 水电站钢筋混凝土岔管结构布置见图5,钢筋混凝土岔管衬砌网格示意图见图6,钢筋混凝土岔管混凝土第一主应力等值线图见图7。

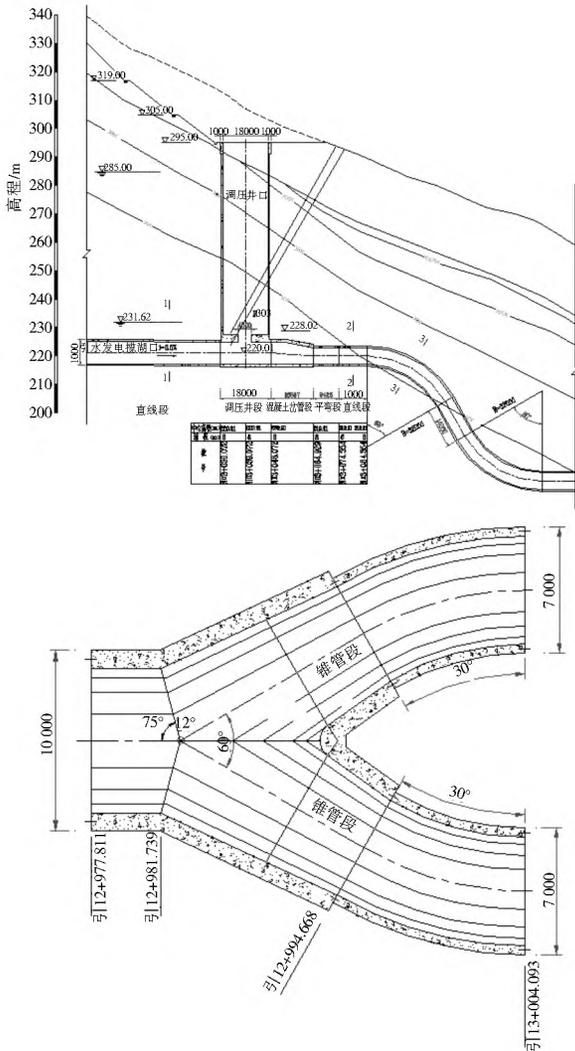


图5 钢筋混凝土岔管结构布置

Fig. 5 Layout of reinforced concrete branch pipe

3.2 岔管结构分析

在内水压力作用下,衬砌主要承受拉应力,由于调压室

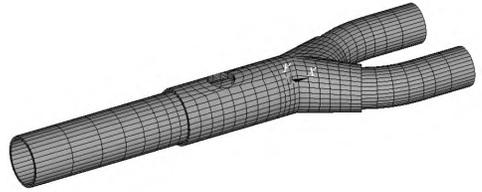


图6 钢筋混凝土岔管衬砌网格示意图

Fig. 6 Schematic diagram of finite element of reinforced concrete branch pipe

最高涌浪水位时,衬砌承受的水压力最大,钢筋混凝土岔管混凝土第一主应力等值线详见图7。

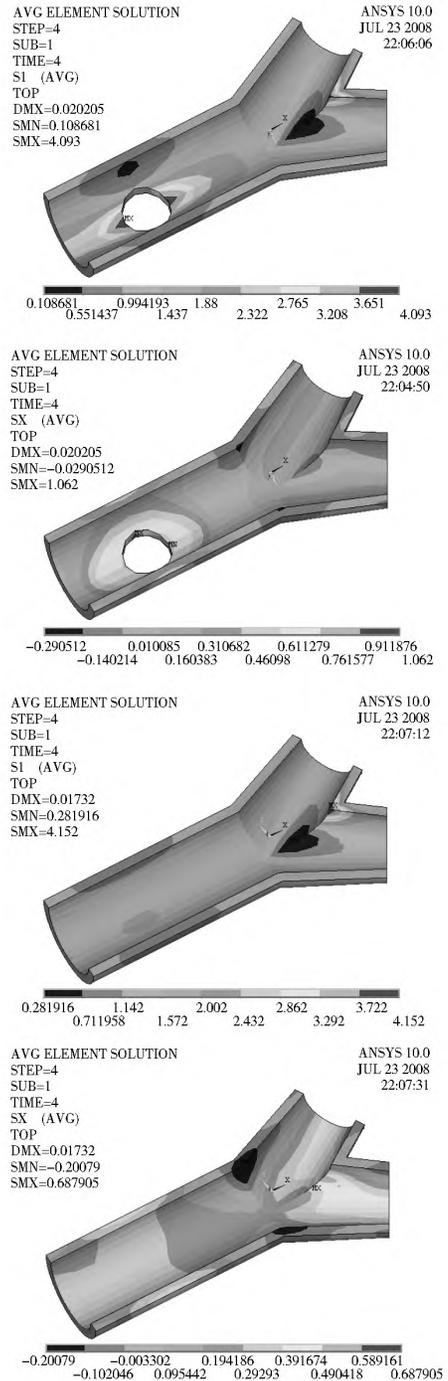


图7 钢筋混凝土岔管混凝土第一主应力等值线(M Pa)

Fig. 7 Isolines of Mises stress of reinforced concrete branch pipe (M Pa)

对于岔管段上半部分,由于阻抗孔的空洞作用以及分岔管的空间几何不连续性,在阻抗孔附近与岔管锐角区腰部衬砌混凝土中出现了较大的拉应力,其中阻抗孔附近最大主拉应力为 4.093 MPa,超过了 C25 混凝土的设计抗拉强度。而对于其它远离阻抗孔位置的岔管段混凝土,最大主应力约在 0.99~1.88 MPa,在顶拱和底板位置混凝土拉应力较小,两腰位置的混凝土拉应力较大。

对于岔管段下半部分,与上半部分相比,由于没有了阻抗孔的影响,因此混凝土拉应力主要出现在岔管的锐角区和钝角区附近,锐角区腰部混凝土最大拉应力最大达到了 4.0 MPa,钝角区的混凝土拉应力也达到了 1.93 MPa,因此存在混凝土开裂甚至较大范围开裂的可能。

3.3 模拟结果及分析

(1) 钢筋混凝土岔管开挖后,围岩塑性屈服区的深度和范围均不大,围岩变形不大,因此围岩稳定性基本可以保证。但是在岔口附近应力集中,需对岔口部位适当修圆处理,或进行喷锚支护。

(2) 调压室出现最高涌浪水位时,衬砌承受内水压力,呈现较大的拉应力,因而衬砌存在较大范围开裂的可能,需配置 2 层 $\phi 32@200$ 的受拉钢筋;岔管段混凝土有较大范围的开裂,但最大裂缝宽度为 0.115 mm,满足规范限裂设计要求。若采用高标号混凝土或钢纤维混凝土,则可降低混凝土开裂范围。

(3) 钢筋混凝土岔管主要依靠混凝土和岩体抵抗内水压力,为避免产生水力劈裂,需对围岩进行固结灌浆及回填灌浆等工程措施,增强围岩和混凝土的整体性,提高围岩的承载能力。

4 结论与建议

(1) 岔管是大型水电站引水发电系统中的重要组成部分,钢岔管和钢筋混凝土岔管从结构上都能满足工程需要,应根据实际情况加以优化选择安全、经济、合理的岔管型式。

(2) 钢岔管防渗性能较好、适应性强,但焊接工艺复杂、施工制作较困难;钢筋混凝土岔管是围岩与钢筋混凝土联合承载的地下结构,水头较高时是透水结构,内水压力主要由围岩承担,为避免产生水力劈裂,需对围岩进行固结灌浆及回填灌浆等工程措施,增强围岩和混凝土的整体性,提高围岩的承载能力。

(3) 钢筋混凝土岔管是典型的复杂空间结构,必须通过三维有限元分析才能对岔管的应力状态做出正确的分析。

(4) 钢筋混凝土岔管主要依靠混凝土和围岩抵抗内水压力,由于引水线路较长,且考虑工程的经济性,采用了一洞两机的引水方式,这样不可避免地增加了调压井和大型岔管等复杂建筑物的设计和施工难度。

(5) 根据缅甸 DAPEIN(D)水电站的工程地质条件,通过对钢筋混凝土岔管和钢岔管进行数值模拟分析,综合考虑,推荐采用钢筋混凝土岔管,将岔管位置由厂房上游调整到调压井下游,改善了岔管地质条件,同时减少岔管内水压力,加快施工进度,节约工程投资。目前工程已顺利实施,并发挥了良好的经济效益。

参考文献(References):

- [1] 丁旭柳,伍鹤皋,龚玉锋. 地下埋藏式钢岔管承载机理研究[J]. 水利学报, 2003, (4): 119-122. (DING Xuliu, WU HEGAO, GONG YUFENG. Study On the Bearing Mechanism of Buried Steel Bifurcated Pipe[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, (4): 119-122. (in Chinese))
- [2] 李旻,伍鹤皋. 埋藏式钢岔管与围岩联合承载有限元分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2004, 37: 24-27. (LI GUO, WU HEGAO. Buried Type Steel Bifurcation Pipe Joint and Surrounding Rock Bearing Finite Element Analysis [J]. Journal of Wuhan University (Engineering Science), 2004, 37: 24~27. (in Chinese))
- [3] 董哲仁. 钢筋混凝土非线性有限元法原理与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002. (DONG ZHEREN. Principle and Application of Reinforced Concrete Nonlinear Finite Element Method [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002. (in Chinese))
- [4] SL 281-2003, 水电站压力钢管设计规范[S]. (SL 281-2003, Specification for Design of Steel Penstocks of Hydroelectric [S]. (in Chinese))
- [5] DL/T 5141-2001, 水电站压力钢管设计规范[S]. (DL/T 5141-2001, Specification for Design of Steel Penstocks of Hydroelectric [S]. (in Chinese))
- [6] 陈学茂,李超,马文亮,等. 钢筋混凝土岔管选型研究[J]. 云南水力发电, 2007, (4): 44-46. (CHEN XUEMAO, LI CHAO, MA WENLIANG, et al. Study on Shape Selecting for Reinforced Concrete Bifurcation Pipe[J]. Yunnan Water Power, 2007, (4): 44-46. (in Chinese))