

苏联电站建设部技术司

水工建筑物设计规范

水电站的水工隧洞

水利电力部北京勘测设计院专家工作室译

苏联电站部技术司批准(1957年7月14日第172号决议
和1958年8月6日第5-6号补充决议)

水利电力出版社

內 容 提 要

本設計規範是以最新隧洞設計資料和試驗研究資料為基礎，並且考慮了施工、設計和科學研究部門的意見後，在規範 TV-11-51 的基礎上補充和改編而成的。

規範內容包括：水電站引水隧洞、尾水隧洞、泄水隧洞、連接隧洞、施工隧洞和綜合性隧洞等有關的各項設計問題，例如，隧洞路線的選擇、隧洞型式的選擇、隧洞斷面型式、隧洞襯砌的計算強度等等，其中很大部分還可用於給水和灌溉隧洞的設計。此外，本規範還考慮了有關改善設計質量、減少設計文件、降低工程造價和縮短施工期限的一些基本原則。

本規範可供水利工程技術人員在設計各種型式的水工隧洞時參考。

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ ТУННЕЛИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1959

水工建築物設計規範

水電站的水工隧洞

根據蘇聯國立動力出版社1959年莫斯科版翻譯

水利電力部北京勘测設計院專家工作室譯

*

2748Q 158

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印

新華書店科技發行所發行 各地新華書店經售

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 2 $\frac{1}{2}$ 印張 * 66千字

1960年4月北京第1版

1960年4月北京第1次印刷(0001—3,590冊)

統一書號：15143·1922 定價(第8類)0.28元

水电站水工隧洞設計规范(TY11-58)系由电站建設施工組織研究院莫斯科分院科学研究所編制的。本规范代替TY11-51。参加本规范編制工作的有：一級科学工作者技术科学副博士 A.M. 馬祖尔(該項工作的領導者)，一級科学工作者技术科学副博士 B.M. 莫斯特柯夫和工程师 M.H. 別尔金，指导該項工作的有技术科学博士 B.T. 阿依瓦茲揚教授和工程师 C.H. 塔依切爾。

編制本設計规范时考虑了水电設計院，莫斯科、梯比里斯及中亞細亞水电設計分院，以B.E. 威捷涅也夫命名的全苏水工科学研究院，梯比里斯水电科学研究院，国立地下鐵道运输設計院和有关专家的批評和意見，以及以威捷涅也夫命名的全苏水工科学研究院关于“水电站水工隧洞設計和施工技术规范的編制”工作的技术总结(1956年 №50頁)。

本設計规范草案曾經电站部技术司組織的以水力发电建設安装总局、电站施工組織研究院莫斯科分院科学研究所、水电設計院、以威捷涅也夫命名的全苏水工科学研究院、水电設計院梯比里斯分院和梯比里斯水电科学研究院等單位的代表参加的委員會审查。

前 言

水电站水工隧洞設計规范代替以B.E.威捷涅也夫命名的全苏水工科学研究所莫斯科分院于1948~1950年編制的技术规范(TY-11-51)。

設計规范的改編是根据1955年8月9日苏联电站部部务會議和1956年2月22日技术委员会會議的決議以及苏联电站部1956年10月13日关于消除电站、变电站和电力网設計中的缺点的命令进行的。

本設計规范是以最新隧洞設計資料和試驗研究資料为基础，并且考虑了施工、設計和科学研究部門及有关专家的希望、意見后而进行补充和改編的。

在本設計规范中，考虑了有关改善設計质量、减少設計文件、降低工程造价和縮短施工期限的一些基本原则：

- (1) 如通常采用的，改成两个阶段設計；
- (2) 修正隧洞动能經濟計算方法，以縮小隧洞横断面尺寸，并降低其造价；
- (3) 准确地估計山岩压力的形成条件，以降低山岩压力的計算值；
- (4) 衬砌混凝土强度的安全系数从4降低到2~2.5；
- (5) 建議采用簡化設計的衬砌靜力計算的新方法；
- (6) 在坚硬的岩石內，广泛采用不带混凝土和鋼筋混凝土衬砌的隧洞；
- (7) 取消对抹平衬砌的水头限制，对設計中不进行山岩压

力計算的衬砌，降低其岩石坚硬性的界限；

(8) 考虑采用装配式和預应力結構的建議；

(9) 根据水工隧洞施工技术保安条例，确定隧洞横断面的最小尺寸；

(10) 采用苏联国家建委根据电站部和电站工程部的呈請通过的水工隧洞工程量的新計算方法。

本設計规范中也考虑了1958年4月26日苏联电站部副部长批准的“关于在水电站水工建筑物設計中降低造价的指示”的原則：

(1) 在整体的混凝土和鋼筋混凝土隧洞衬砌的計算中，允許混凝土內出現裂縫；

(2) 考虑采用噴混凝土，其衬砌厚度較整体混凝土可約减小二分之一；

(3) 将鋼筋噴浆結構中的噴浆层的允許拉应力，从30公斤/厘米²提高到40~50公斤/厘米²。

在使用本設計规范过程中，如提出新的意見和建議，請寄至电站施工組織研究院莫斯科分院科学研究处。地址：莫斯科 Бережковская наб д. № 40。

目 录

一、設計规范的适用范围.....	5
二、隧洞的分类.....	6
三、隧洞型式的選擇.....	7
四、隧洞数量.....	8
五、隧洞路綫.....	9
六、隧洞横断面的型式.....	11
七、隧洞的横断面尺寸和設置高程.....	13
八、隧洞衬砌材料.....	20
九、隧洞衬砌.....	22
十、运行方面对隧洞結構的一般要求.....	29
十一、作用在隧洞衬砌上的荷載.....	30
十二、隧洞衬砌的强度計算.....	33
附录.....	37
参考文献.....	91

苏联电站建設部 技术司	水电站水工隧洞 設計规范	TY11-58 代替 TY11-51
----------------	-----------------	--------------------------

一、設計规范的适用范围

§1. 本設計规范适用于水电站各种水工隧洞, 即水电站运行或施工期間使用的纵坡不超过0.10的地下輸水道的設計。

附注: 本設計规范除§26, 28, 29, 31, 37, 38及附录1以外, 其余部分在設計給水和灌溉隧洞时也可采用。

§2. 本設計规范适用于初步設計, 技术設計和施工詳图各阶段。

§3. 水电站水工隧洞的設計, 通常分为两阶段进行: 初步設計和施工詳图。

在个别情况下, 經批准設計任务书的机关同意后, 对施工特別复杂的水工隧洞可以分三个阶段进行設計。

§4. 設計隧洞时, 必須保証最大限度地运用定型設計或重复使用經濟的設計。

§5. 初步設計、技术設計和施工詳图各阶段的設計和勘测資料的内容, 应根据設計和預算編制規程确定〔文献1〕。

二、隧洞的分类

§6. 水电站的水工隧洞按其用途分为:

1. 引水隧洞: 是将水引至水电站建筑物厂房枢纽或是包括在用于同一目的水道(渠道、管道)的组成部分中的隧洞;

2. 尾水隧洞: 是将水从水电站排至下游的隧洞, 或者是包括在用于同一目的水道(渠道、管道)的组成部分中的隧洞;

3. 连接隧洞: 是连接蓄水池(水库、水池)和水道用的隧洞, 或者是包括在用于同一目的水道的组成部分中的隧洞, 以及将区间水流引至水电站隧洞内的隧洞;

4. 泄水隧洞: 是单独地或与渠道、管道共同地将水库上游、水电站引水道和压力前池内的多余水量排走, 以及用于放空和冲洗水库和水道的隧洞;

5. 施工隧洞: 是在水工建筑物(坝、水电站厂房等)施工和修理期间用于排泄河川流量的隧洞;

6. 综合性隧洞: 是在运用的各个不同阶段内, 供本节上述各项所规定的目的而用的隧洞。

§7. 水工隧洞的重要性等级应按建筑法规 11-П.2 确定, 并应符合下列各项指示:

1. 引水隧洞、尾水隧洞、连接隧洞、泄水隧洞均属于主要建筑物;

2. 用于放空和冲洗蓄水池和水道的隧洞属于次要建筑物;

3. 仅在水工建筑物施工或修理期间用于导流, 而以后不再用于其它目的的隧洞应属于临时性建筑物。

附注：同时用于不同目的的隧洞，其重要性等级应根据其中最高的等级确定。

三、隧洞型式的选择

§8. 水电站水工隧洞按其工作方式分为：

1. 有压隧洞：受顶拱以上多余水压力的作用；

2. 无压隧洞：在部分充水的状态下工作。

无压引水隧洞又分为：

1. 非自动调节隧洞：沿隧洞路线或在压力前池中设有限制水位升高的泄水建筑物；

2. 自动调节隧洞：沿隧洞路线或在压力前池中没有限制水位升高的泄水建筑物。

附注：除上述各种隧洞型式外，还可采用内部有自由放置管道的隧洞。

§9. 隧洞型式应根据其用途、工作方式、工程地质条件和施工方法选定。

§10. 如按水电站的工作条件，隧洞可以有压的，也可以是无压的，则其型式的选择应通过对两个可能方案进行技术经济比较加以论证。

有压引水隧洞一般较无压隧洞贵，但是，在上游水位和隧洞下泄流量变化很大条件下，前者较后者优越。在冬季严寒条件下，有压引水隧洞前设有深式进水建筑，可以改善水电站的运行。

尾水隧洞通常是无压的。当下游水位变化很大时，为保证。

无压状态，隧洞横断面的高度要求很大。将尾水隧洞修筑为有压的可能是有利的，必要时，可设置调压井以减轻水锤作用和改善水轮机工作条件。在尾水隧洞同一段内采用时而有压，时而无压的工作方式是不适宜的。如果在一般情况下，河流下游水位变化不大，并且允许修筑横断面高度正常的无压尾水隧洞，而仅在汛期隧洞被水充满，同时下游水位升高速度缓慢，无涌浪现象，隧洞内不会产生真空，动能指标合理时可以采用可变的工作方式。在此种情况下，应在试验室内进行模型试验以求出脉动压力值。

在泄水隧洞和施工隧洞的泄水段内可以采用有压段（泄水道的垂直和倾斜部分）和无压段（泄水道的水平部分）。在同一段内不允许采用可变的工作方式。

四、隧洞数量

§11. 如流量很大，使无压隧洞的跨度和有压隧洞的直径达10~15米或更大，以及工程地质条件不利，难于开挖大断面隧洞时，须研究用两个或更多的平行布置的隧洞代替一个隧洞的方案。方案的选择应通过各可能方案的技术经济比较，并分析其水力和静力工作条件、首部和尾部建筑物的布置，施工、工程造价和工期后决定。此时，建议结合水电站分期投入运行的情况，研究各隧洞按顺序建成的合理性。

各隧洞间的岩柱宽度（距离—译者），按岩石的性质，隧洞的压力水头和施工条件确定。在软弱的岩石中，岩柱的宽度应在邻拱压力作用下进行强度的校核计算，并考虑爆破工程的破坏作用，而对无衬砌的有压隧洞应进行最大内水压力单独作用

下的强度校核計算。

五、隧洞路綫

§12. 隧洞的路綫应通过对可能方案的技术經濟比較后加以确定。隧洞路綫以及进洞地点和輔助开挖点的各种方案，应根据隧洞可能的定綫地区及其各进路地段的工程地质勘查資料和地形測量資料选定。

在設計隧洞路綫时，应该避开对开挖隧洞特別不利的地段（山岩压力非常大，地下水水头和来水量很大，可能发生滑坡現象，路綫距地表太近等等），或者在选择隧洞結構和施工方法时專門地考虑这些条件。

与隧洞选綫有关的工程地质勘查和試驗研究工作的項目和方法按規程确定〔文献2〕。

§13. 建議将隧洞路綫設計成直綫的。在下述情况下，隧洞路綫采用为非直綫的：由于水利樞紐建筑物的布置要求；当用开挖側向平峒或豎井的方法可能減輕(必要时)补充工作面时；可以避免在不利的工程地质条件下开挖隧洞；可以避免隧洞位置过于接近地表。为增加补充工作面而設置的支洞、豎井的位置、型式和数量应根据隧洞工程的基本組織原則确定〔文献3〕。

§14. 隧洞路綫轉折处的数目和位置，轉折角度的大小以及弯曲半徑应根据各个路綫方案的技术經濟比較进行选择。但弯曲半徑不应小于隧洞寬度的5倍，轉折角度則不应大于 60° 。在个别情况下，接近建筑物地下部分的隧洞段上，經必要的論証后，允許减小上述弯曲半徑和轉折角度。

在所有情况下，隧洞路綫的弯曲半徑均应与施工方法相結

合，并应保证隧洞施工时车辆的通行。

在曲线形隧洞的首部和尾部应设直线段，其长度不应小于隧洞宽度的10倍。

§15. 隧洞洞口开凿地点决定于：

1. 当引水隧洞和尾水隧洞沿线没有其他型式的引水道时，隧洞洞口则按与隧洞相连接的水电站首部枢纽和厂房枢纽的建筑物所采用的位置决定；

2. 当引水隧洞和尾水隧洞沿线设有其他型式的引水道时（渠道，管道），以及在内部自由放置管道的隧洞，如与隧洞相邻的引水道的每米造价与隧洞的每米造价相差不多，则隧洞洞口应根据具有便于组织施工的良好地形条件和工程地质条件选择。如果变动隧洞洞口开凿的位置而大大影响洞口开凿的造价，则应根据各种方案的技术经济比较进行选择；

3. 对泄水隧洞和施工隧洞，决定于隧洞与上下游的水力衔接和结构连接条件，并须适应隧洞的水力情况。

§16. 施工隧洞的路线应选择最短的，但同时应使隧洞与水工建筑物之间有一定的距离，以免水工建筑物地基的岩石不致因受隧洞掘进时爆破的影响而遭到破坏。

附注：选择施工隧洞路线时，应避免使正在修建中的建筑物附近受到冲刷和基坑内浸水，并应避免加固围堰附近土壤的必要。

§17. 施工隧洞和泄水隧洞路线的弯曲半径应尽量选择得大些。如果水流的流速很大（超过10米/秒），可能引起不利的水力现象（水位上升很高淹没了断面，水流破断，曲线内边形成真空）时，弯曲半径应通过隧洞室内模型的试验研究并以阐明水流运动情况后加以确定。

§18. 当隧洞路线接近地表面时，应考虑用明渠或管道代替

該段隧洞的方案。应在对隧洞方案和渠道或管道方案进行技术經濟比較的基础上采取最后决定。

§19. 如隧洞路綫位于工程地质条件不利的山坡內，尤其当岩石层面傾斜有滑坍的趋势时，应考虑将隧洞路綫移至岩体深处的方案。

六、隧洞横断面的型式

§20. 有压和无压水工隧洞的横断面型式(隧洞淨断面)应根据对隧洞水力工作条件不同的各种外形进行的分析(有压隧洞和无压隧洞，非自动調节或自动調节隧洞等)，以及对工程地质条件、衬砌工作的靜力条件、隧洞横断面尺寸和施工方法进行的分析选择。

§21. 无压隧洞建議采用下列型式的横断面(图 1)。

横断面型式 I (I_1 , I_2)——在无山岩压力的密实和坚硬的岩石中掘进隧洞，以及在上述地质条件下掘进横断面尺寸很大的隧洞时采用；

横断面型式 II (II_1 , II_2)——在垂直山岩压力很小的岩石中掘进隧洞，而且无側向山岩压力作用在衬砌上时采用；

横断面型式 III (III_1 , III_2)——在垂直山岩压力很大的岩石中掘进隧洞，并有很小的側向山岩压力作用在衬砌上时采用；

横断面型式 IV (IV_1 , IV_2)——在作用于衬砌上的垂直山岩压力和側向山岩压力很大的岩石中以及有上托力的岩石中掘进隧洞时采用；

圓形断面的型式大多在下列情况下采用：沿綫岩层层面傾斜和不固定，有不对称于隧洞横断面垂直中心綫的山岩压力作

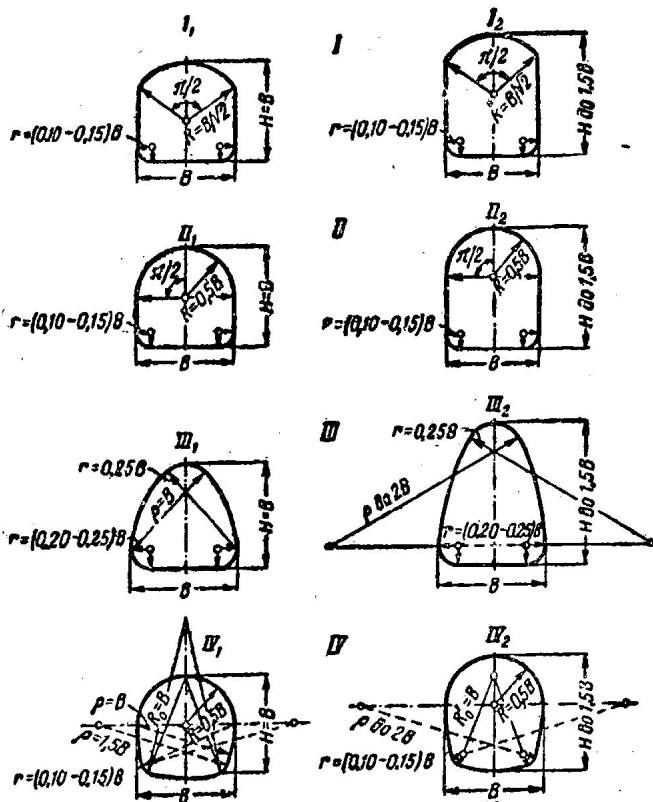


图 1 无压隧洞的横断面型式

附注：在个别情况下，經相应的論証后，对无压隧洞可采用 $H > 1.5B$ 的横断面。

用，地下水压力很大，土壤具有膨胀性质，以及用盾构（鑽架）法施工和采用預制衬砌时采用。

横断面型式 I₁，II₁，III₁，IV₁ 适用于隧洞內水位变化很小的情况，而 I₂，II₂，III₂，IV₂ 适用于隧洞內水位变化大以及横断面高度不固定的自动调节隧洞。

§22. 对有压隧洞，一般采用圆形断面较适宜，但經相应的論証后，也可采用較圆形断面施工更方便的 I，II，IV 型横断面(本設計规范§21)。

§23. 内部有自由放置管道的隧洞，其横断面型式可按本规范§21采用。

§24. 当山岩压力和横断面尺寸很大时，隧洞型式应在进行相应的分析后加以选定。

七、隧洞的横断面尺寸和設置高程

横断面的最小尺寸

§25. 隧洞淨横断面的最小尺寸应按施工期保証工作人員在开挖断面內来往行走的安全規章确定〔文献 4〕。

用矿山开挖法施工的隧洞，其直綫段上的淨横断面最小尺寸按图 2 采用。

附注：1. 在曲綫段上，最小开挖寬度的增加須按現行规范确定(文献 4)。

2. 在采用盾构法掘进以及采用康拜因或掘进机械开挖和装岩时，隧洞横断面的最小尺寸根据專門机械设备的尺寸确定(盾构、康拜因等)。

3. 在拱架段长超过 50 米时，带有混凝土和钢筋混凝土衬砌的隧洞的横断面最小尺寸(图 2)，应根据鋼拱架的厚度(15~20 厘米)加大。

4. 在采用尺寸小的新型机械设备和螺栓支撑的情况下，或用皮帶运输机出碴时，隧洞横断面的最小尺寸可按图 2 中規定的尺寸适当减小。

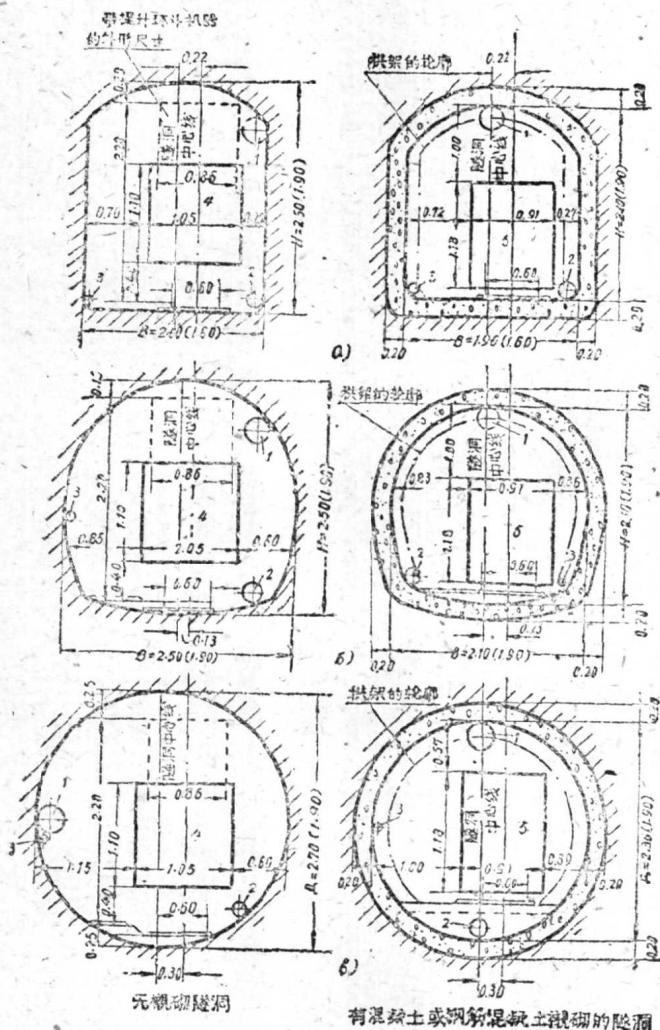


图2 隧洞淨断面的最小尺寸

a) 槽形的隧洞 (型式 I 1); b) 馬蹄形的隧洞 (型式 II 1); c) 圓形的隧洞。
1—道風管 $D=300$ 毫米; 2—排水管 $D=200$ 毫米; 3—壓縮空氣管 $D=100$ 毫米; 4—裝岩機; 5—電力機車。

图2附注: 图中橫断面最小尺寸适用于采用 II M II-S 型裝岩機, AR-2 M 型舊式電力機車, 容積 0.6 立方米的斗車, 鋼拱支撐和鋼拱梁的矿山方法掘进; 括号的尺寸适用于长度不大, 且宜于人工裝岩和斗車拖运的隧洞。

水电站的引水隧洞和尾水隧洞

1. 隧洞的横断面尺寸和高程位置，以及隧洞的水力情况，与洞工作有关的泄水建筑物的水力情况，应通过技术经济计算，在經濟上最有利的隧洞参变数后加以确定，其中：

1. 使下列的各项年費用最小：隧洞的年維持費用，每年隧洞由于沿程摩擦力和局部阻力所损失的电能的造价，以及由于隧洞而造成的电能损失的造价（如果泄水流量值与隧洞参变数有关）；

2. 用稍加改变隧洞参变数的方法，而获得的水电站补充电能的造价等于替换水电站的电能造价，而替换水电站的电能应原水电站由于隧洞水头损失而造成的损失电能具有同等的质

替换电站的电能造价应考虑电能质量，并按水电站动能经济计算的基本原则确定〔文献5〕。

附注 1. 电能质量用能否将其利用在规定的负荷曲线部位上和用所计的水电站将发电量及装机容量均能与之相比的电站从负荷曲线上排出去后所获得的经济效益来表示。

2. 当替换电能的造价随隧洞的参变数而改变时，须在计算过程中修电能造价。

§27. 根据技术经济计算确定的隧洞的净横断面尺寸，不应于按本规范 §25 确定的净横断面尺寸。

§28. 如设计的隧洞尺寸变动后，必须改变与隧洞相邻的水电站建筑物的尺寸时（进水口，压力前池，调压池，泄洪道，冰道等），在技术经济计算中也须考虑这些建筑物的年维持費用。

附注：1. 如相邻建筑物的造价，其总额不超过设计隧洞造价的 15%