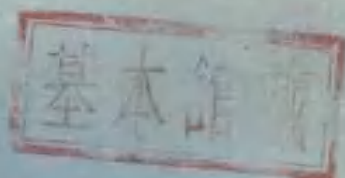


199539



涵洞和水管結構設計

車 宏 亞 著



水利电力出版社

涵洞和水管結構設計

車 宏 亞著

水利电力出版社

本書系統地介紹了各種類型的涵洞和水管（包括預應力鋼筋混凝土水管）結構計算、設計與構造；並重點闡述國內外對於涵管的荷載確定、靜力分析和斷面選擇的不同計算方法。

此外，就涵管縱向強度和不等沉陷等理論問題，也進行了探討。

書中所列公式、圖表均便於實用。所附算例，系結合國內各地涵管定型設計，進行核算比較。

本書可供水利、橋涵、市政等工程技術人員參考；並可作為水工結構、水利土壤改良、給水排水等專業教學參考用書。

涵 洞 和 水 管 結 構 設 計

986 S 228

作 者 車 宏 亞

出 版 者 水利電力出版社（北京西郊科學路二里溝）
北京市書刊出版業營業許可証出字第 105 號

印 刷 者 水利電力出版社印刷廠（北京西城成方街 13 號）

發 行 者 新華書店

468 千字 850×1168¹/₃₂ 開

16⁷/₁₆ 印張

1958 年 9 月第一版 北京第一次印刷 印數 1—2,600

統一書號：15143·855 定價（10）2.90 元

2.80

序

涵洞和水管，广泛使用在公路、铁路、城市建设和水利工程中。

解放以来，在党的领导下，全国各地曾经修建了许多涵洞和很长的管道。并且在學習苏联先进經驗的基础上結合了国内的实际情况，取得了很大的成績。

目前，在涵管結構設計方面，由于有关單位的努力，已經积累了不少可貴的經驗。本書即根据北京市市政工程設計院及其技術研究所、水利部北京勘测設計院、城市建設部給水排水設計院、建筑材料工業部水泥科學研究院以及天津市建設局等單位所提供的資料，对1955年为天津大学水工結構專門化所編写的鋼筋混凝土补充課讲义进行了增补和整理。但是限于編者業務水平，又兼脫稿倉促，其中不妥之处恳切希望有关方面予以指正。

本書依次介紹了涵洞水管的荷載計算、靜力分析、断面選擇及其構造，并附有算例。可供水利、土木工程师参考，也可以做为水工結構、給水排水等專業教学参考用書。

在編写过程中，曾先后承天津大学吉金标、余权、盧实、張崇文等教授及李維溥先生热心指导和协助，均此致謝。

車 宏 亞

1958年1月于天津大学

目 录

序

所采用的主要符号	(4)
第一章 緒論	(7)
第一节 概說	(7)
第二节 涵管的分类	(9)
第三节 涵管的外荷载計算及其靜力分析概說	(16)
第四节 涵管断面選擇現有的計算方法	(21)
第五节 国内涵管設計、試驗情况簡介	(23)
第二章 作用于涵管上的外荷载計算	(28)
第一节 溝埋式涵管垂直土压力計算	(28)
第二节 上埋式涵管垂直土压力計算	(45)
第三节 隧洞式涵管垂直土压力計算	(60)
第四节 刚性涵管土壤側压力的計算及圓形涵管軸向土压力的分佈問題	(80)
第五节 地面上靜荷载的作用	(93)
第六节 地面上活荷载的作用	(104)
第七节 涵管自重和涵管内水压力以及外水压力的計算	(115)
第八节 圓形刚性涵管支点反力的計算	(118)
第九节 刚性座垫及整体式基础的涵洞基底土壤反压力的計算 (附条板 Q , M 值的确定)	(124)
第十节 分离式基础的涵洞基底土壤反压力的計算	(180)
第十一节 柔性涵管周圍土壤彈性抗力的計算	(183)
第十二节 地面活荷载对于涵管縱向工作的影响	(189)
第三章 涵管靜力計算	(219)
第一节 圓形刚性涵管在各种荷载作用下弯矩及法向力的計算	(219)
第二节 圓形涵管断面的变形以及影响弯矩值减小的因素	(243)
第三节 $H. J. \text{布尔德兹格拉}$ 对于圓形涵管以及新型有压涵管 結構的計算方法	(251)

第四节	剛構式鋼筋混凝土涵洞計算	(260)
第五节	拱合式涵管的計算	(275)
第六节	拱涵的計算	(281)
第七节	盖板式涵洞的計算	(292)
第八节	涵洞縱向強度問題	(304)
第九节	涵洞洞口建築物的計算	(313)
第四章	涵管断面選擇	(321)
第一节	鋼筋混凝土涵管承载力的計算——按照極限狀態的計算方法	(321)
第二节	鋼筋混凝土涵管承载力的計算——按照破坏階段的計算方法	(343)
第三节	B. M. 穆拉謝夫教授关于計算鋼筋混凝土裂縫出現、裂縫开展 以及裂縫后断面剛度的理論	(348)
第四节	鋼筋混凝土涵管變形的計算	(367)
第五节	鋼筋混凝土涵管抗裂性的計算	(374)
第六节	混凝土及少筋混凝土涵管断面選擇	(389)
第七节	卵石砌筑的涵管断面選擇	(405)
第五章	涵管構造及計算举例	(412)
第一节	混凝土及鋼筋混凝土圓形涵管的構造及計算举例	(412)
第二节	盖板式涵洞的構造及計算举例	(450)
第三节	剛構式鋼筋混凝土涵洞的構造及計算举例	(464)
第四节	卵石拱涵洞的構造与計算举例	(472)
第六章	預应力鋼筋混凝土水管	(480)
第一节	概說	(480)
第二节	預应力鋼筋混凝土管的工艺制造与驗收	(484)
第三节	預应力鋼筋混凝土管抗裂性計算	(498)
第四节	根据 Y-96-50 計算預应力鋼筋混凝土管的方法	(503)
第五节	預应力鋼筋混凝土管的構造及計算举例	(510)
主要参考書		(522)

所采用的主要符号

- | | |
|-----------------------------|--|
| r —— 圓形涵管平均半徑; | $2l$ —— 条板寬度; |
| r_0 —— 圓形涵管內半徑; | L —— 特征長度 (計算条板及彈性基礎時); |
| r_1 —— 圓形涵管外半徑; | l_p —— 計算跨度; |
| D —— 圓形涵管平均直徑; | h_n —— 板厚; |
| D_0 —— 圓形涵管內徑; | α_ϕ —— 支點中心含角之半; |
| D_1 —— 圓形涵管外徑; | α_0 —— 涵管自地基表面凸出系數; |
| h —— 涵管斷面厚度; | θ —— 極角, 自垂直直徑頂點計起; $\theta_1 = \pi - \theta$; |
| h_0 —— 涵管斷面有效高度; | F —— 涵管斷面面積; |
| B —— 槽寬; | F_s —— 等值斷面; |
| B_0 —— 管頂處的槽寬; | F_{np} —— 折算斷面; |
| B_n —— 臨界槽寬; | F_a —— 鋼筋斷面面積; |
| b —— 涵管斷面計算寬度; | F'_a —— 受壓鋼筋斷面面積; |
| H —— 涵頂或管頂復土深度; | W —— 斷面抗力矩; 對於鋼筋混凝土涵管, 裂縫前用 W_T , 裂縫后用 W_a ; |
| H_0 —— 自地面至管中心的埋土深度; | W_{np} —— 折算斷面抗力矩; |
| H_s —— 等沉面至涵頂間的距离; | J_1 —— 斷面慣性矩; |
| H_m —— 最高地下水位至涵頂間的距离; | J_{np} —— 折算斷面慣性矩; |
| $2a$ —— 箱涵計算跨度; | E_1 —— 涵管材料彈性模量; |
| $2b$ —— 箱涵計算高度; | E_0 —— 地基土壤變形模量; |
| h_0 —— 卸力土拱的矢高; | |
| L_{ca} —— 考慮側壓力時, 卸力拱的跨度; | |

E_s ——回填土变形模量;
 ν_1 ——涵管材料泊松比;
 ν_0 ——地基土壤泊松比;
 ν_s ——回填土泊松比;
 γ_1 ——涵管材料容重;
 γ_w ——水的容重;
 γ_s ——回填土容重;
 γ_0 ——地基土壤容重;
 φ ——回填土内摩擦角;
 φ_1 ——回填土与槽壁间的摩擦角;
 η ——土壤侧压力系数;
 f_{kp} ——普氏坚固系数;
 f ——土壤粘着力;
 f_{ck} ——摩擦系数;
 G ——涵管自重;
 g ——涵管单位面积上的自重;
 G_s ——涵管上全部回填土垂直压力;
 $q_s = q_s' + q_s''$
 q_s' ——作用于涵管上垂直土压力强度;
 q_s'' ——由地面活荷载所产生的垂直压力强度;
 G_s ——作用于涵管上全部土壤侧压力;
 q_s ——侧压力强度;
 G_n ——管上“胸腔”内的土重;
 G_w ——管内无水头满水重;
 G_w' ——管外无水头上浮力;
 p_w ——管内液体的侧压力的合

力;
 p_0 ——管内均匀水压力;
 p_0' ——管外均匀水压力;
 P_s ——由地面活荷载所产生的全部垂直压力;
 Q_s ——等于涵管上全部垂直荷载的地基反力;
 q_s ——球型土压力的压力强度;
 $p_{e.1}$ ——支点反力强度;
 p ——基底土壤反力强度;
 q ——均布荷载;
 P ——集中荷载;
 m^0 ——外力矩;
 K_T ——溝埋式涵管垂直土压力集中系数;
 C_{mp} ——馬斯頓溝埋式垂直土压力集中系数;
 K_H ——上埋式涵管垂直土压力集中系数;
 C_k ——馬斯頓上埋式垂直土压力集中系数;
 γ_{sd} ——沉陷比值;
 K ——强度安全因数;
 K_{mp} ——抗裂安全因数;
 k_0 ——土壤地基系数;
 Δ ——变形;
 M ——計算弯矩;
 M^H ——由标准荷载所产生的弯矩值;
 M_{mp} ——裂縫出現时断面所承受

的弯矩值;

N ——法向力計算值;

N^H ——由标准荷載所产生的法向力值;

N_{mp} ——裂縫出現时, 断面所承受的法向力值;

$\bar{\xi}$ ——弯矩折減系数;

ξ_r ——裂縫出現时 受压区折算高度;

ξ_{cp} ——工作阶段 (Ⅱ) 受压区折算高度;

ξ ——条板折算距离;

n ——彈性模量比值; $n = \frac{E_a}{E_c}$;

$$n_p' = 2n; \quad n' = 3n;$$

$$n_1 = \frac{E_a}{E_{cn}};$$

E_a ——鋼筋彈性模量;

E_c ——混凝土受压彈性模量;

E_{cn} ——撓曲时混凝土标准彈性模量;

$$\mu = \frac{F_a}{bh_0}; \quad \mu' = \frac{F_a'}{bh_0}; \quad \alpha = 3\mu n;$$

μ_D ——动力系数;

ψ ——考虑裂縫間混凝土 参加工作的影响系数;

n_i ——任意荷載的超載系数;

c_l ——荷載組合系数;

k ——材料的勻質系数;

k_1 ——鋼筋預应力勻質系数;

m ——工作条件系数;

m_a ——鋼筋工作条件系数;

R_a, R_{ap} 及 R_p ——混凝土撓曲受压, 棱柱抗压及中心抗拉計算强度;

R_a^n, R_{ap}^n 及 R_p^n ——为相应的标准强度;

R_a ——鋼筋計算强度;

R_a^n ——鋼筋标准强度;

σ_a ——鋼筋应力;

σ_t ——鋼筋屈服極限;

$\sigma_{a,mp}$ ——考虑損失后鋼筋中的預应力值;

$\sigma_{a,k}$ ——鋼筋控制应力;

d ——管芯厚度;

n_{mp} ——考虑水压影响的系数。

第一章 緒 論

第一节 概 說

1. 涵 洞

涵洞是橫穿公路、鐵路路基，或河渠堤岸，用來蓄洩水流的人工建築物。涵洞與橋梁及水閘的主要區別，即在於其跨徑較小，且通常洞頂均復有填土。

涵洞的用途，約可分做下列幾項：

I. 路線與河道相交，且河水流量不大時（例如不超過10立方公尺/秒），修建涵洞以代替橋梁，往往較為經濟。此外，涵洞與橋梁比較，尚有很多優點：

(1) 涵洞可以保持路基最好的連續條件，使車輛行駛其上，不受顛簸。

(2) 涵洞的養護費用，較同樣跨徑的橋梁為低。

(3) 在同一流量時，涵洞的孔徑經常小於橋梁的跨徑。

(4) 汽車、拖拉機等活荷載數值的变化，隨洞頂復土深度的增加，對涵洞內力值的影響也越益減弱，但其影響永遠較對橋梁內力值的影響為小。且當洞頂復土深度大於3~4公尺時，涵洞所承受的主要荷載為土壓力。

II. 排洩路基上坡方面的積水，保護堤岸的安全。

III. 兩條路線相交，且路側具有旁溝以洩水時，則可利用涵洞來聯繫旁溝的水流。

IV. 使用在河渠系統中的涵洞，可以做為引水灌溉、調節水流、以及宣洩洪峯之用。

V. 有时在城市路綫交叉处，修建涵洞，以供人行及行駛車輛之用。

涵洞的組成部分有洞口及洞身兩部分（圖1）。

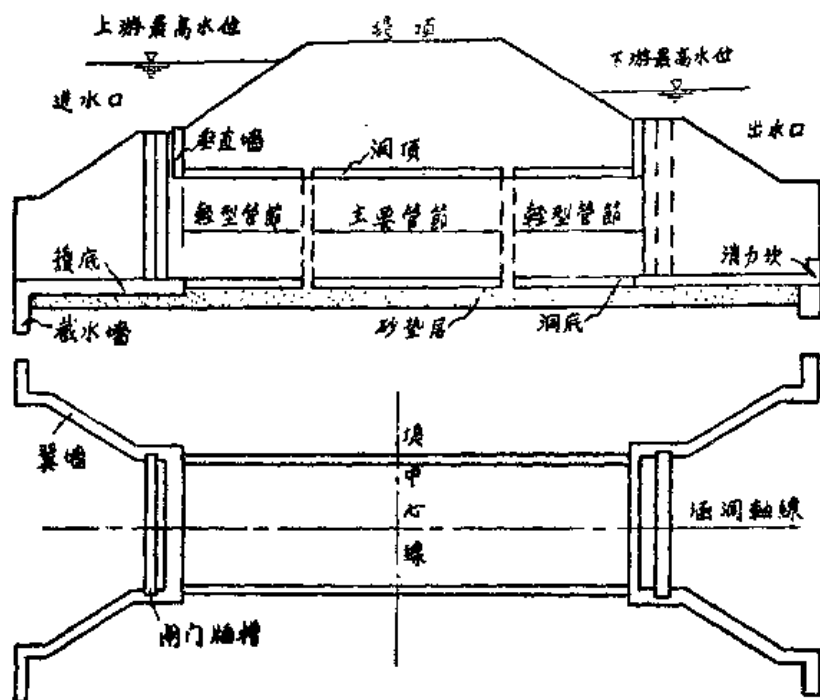


圖1 涵洞的佈置圖

I. 洞口：為連接洞身及堤岸边坡的建築物。其形式須保證水流正常通過涵洞。按其位置不同，又可分为進水口（涵洞上游）及出水口（涵洞下游）。當做為涵閘使用時，閘門多設於進水口處，但有時亦置於出水口處。如果水流無固定河道可循時，宜在上下游分設引水溝及排水溝。為防止水流冲刷，在上下游常鋪建護底工程。有時在上游護底盡端處設置截水牆，用以減少洞底滲流。

II. 洞身：洞身銜接進、出水口。一般涵洞的洞身，系由洞頂、洞壁及洞底所組成。洞底的縱向坡度，通常較原有河道稍陡，且在任何情況下，不得小於0.4%，以免流緩淤積；另外也不宜於過陡，以防

下游冲刷。若坡度大于5%时，洞底基础应做成阶梯式（圖2）。涵洞的洞頂及洞壁，承受堤頂活荷載以及垂直或側向土压力，并構成涵洞所需的洩水断面。若洞身部分較長，位于堤頂行車部分下方的洞頂及洞壁，由于承荷較大，常較位于堤肩下方端部处的洞頂及洞壁所需断面为厚，此时，如果选用标准管节，常在兩端佈置輕型管节，而在堤頂下方佈置主要管节，其間用沉降縫分开。

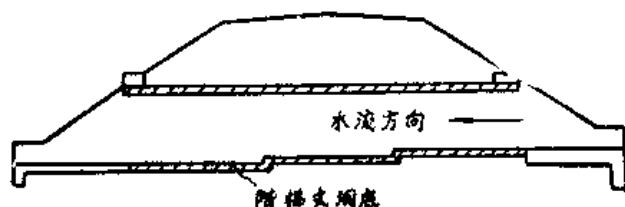


圖2 阶梯式涵洞剖面圖

2. 水 管

水管系用以輸送液体或气体的人工建筑物。普通水管多制成圓形断面，且常埋設于地下。其用途除可以做为涵洞洞身管节以外，尚可用做：

- | | |
|-----------|-------------|
| I. 給水管； | IV. 瓦斯管； |
| II. 排水管； | V. 供热系統的溝管； |
| III. 輸油管； | VI. 水电站导管等。 |

在給水管及水电站导管中，如压力較大，但不超过10个大气压力时，常使用預应力鋼筋混凝土水管，以提高管壁的抗裂能力，防止滲水。

第二节 涵管的分类

1. 按照敷設方法分类

由于涵洞或水管在土中構築的方法不同，則复土所傳給涵管上的

压力大小与性质亦将不同。按照涵管敷设方法，约可分为下列三类：

I. 溝埋式：

涵管系構築于較深的溝槽中（圖3），槽壁天然土壤堅實，涵管上部及兩側，填以回填土。一般習用此法構築給水管及排水管。

II. 上埋式：

涵管系直接構築在地面上（圖4），或敷設于淺壕中，然后再在涵管上部填土。橫穿公路、鐵路路基以及河渠堤岸的涵管，多用此法構築。

III. 隧洞式：

对于在稳定性路基（旧綫）中，或在城市建築物下，采用穿洞方法或頂管方法構築涵管时，自地面以下至管頂以上大部分天然土壤未受扰动，这时，涵管所受土压力，与隧洞相似，故可称为隧洞式敷管方法（參看圖5）。

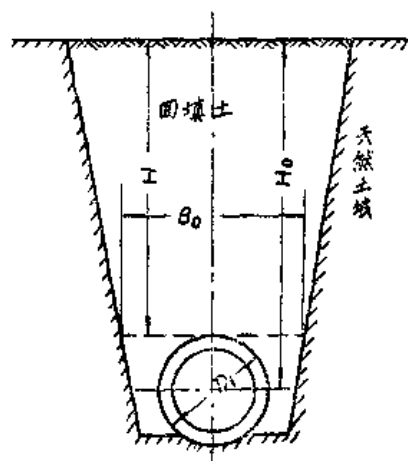


圖3 溝埋式涵管

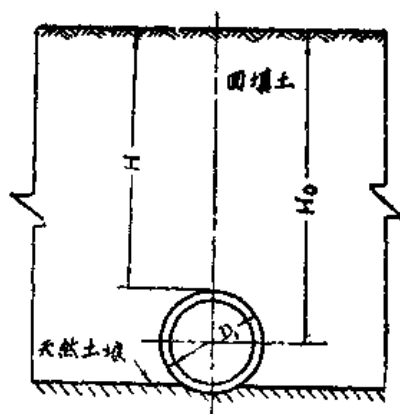


圖4 上埋式涵管

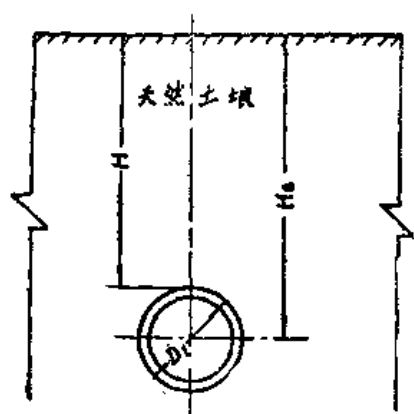


圖5 隧洞式涵管

2. 按照奠基方法分类

由于涵管基础設置方法不同，不仅将直接影响涵管之承载力，而且对于涵管的沉陷，也会發生不同程度的影响。普通涵管，多直接置于天然地基上，或放在砂垫層上，但在地基土壤情况复杂时，常設置混凝土或漿砌塊石基础，以減少不等沉陷。

一般說来，基础形式的選擇，应根据地基土壤物理性質、該地气候条件以及水文情况来决定。但对于不同类型的涵管，其基础处理形式，亦將不同。現就混凝土或鋼筋混凝土圓形涵管的奠基方法介紹于后。

I. 土基：按照涵管与地基接触面的情况又可分为：

(1) 平基敷管：

涵管系直接放在水平的土基上（圖6）。因此，在横断面上，涵管与地基在理論上仅相切于一点。这样，对管体的靜力工作条件，將造成不利的影响。

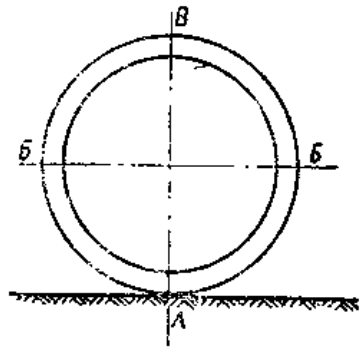


圖6 平基敷管

此类敷管的方法，仅能使用在小管徑的涵管上。

(2) 弧形土基：

涵管系構築在天然土壤或填土地基上，地基的表面是按照管体的外形做成曲綫形的弧形底槽（圖7）。对于圓形水管來說，其中心含角（ $2\alpha_0$ ）越大，对于水管所处的工作条件就越为有利。

II. 剛性座垫：

涵管系構築在沿縱向連續的混凝土、漿砌塊石的座垫上，座垫的頂部与管体底部形狀吻合（圖8）。与弧形土基相似，其中心含角（ $2\alpha_0$ ）越大，对管体的工作条件越屬有利。最常用的中心含角为 90° 、 120° 、 135° 及 180° 。

考虑到剛性座垫的存在，可以作为無压涵管組成的一部分，苏联 Л.А.切脫維尔寧（Четвернин）曾創拟一种新型拼合式涵管，即將三鉸拱或兩鉸拱拼裝在剛性座垫上。这种拼合式涵管使用在排水管道

中，不仅可以降低工程造价，且便于机械化施工。在第三章中，我們將介紹其計算的特点。

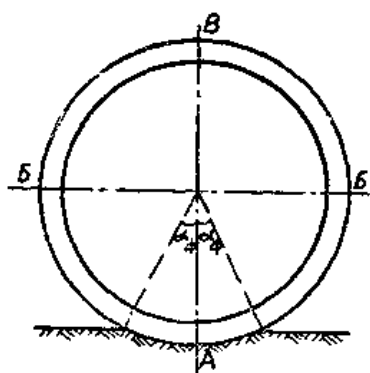


圖7 弧形土基

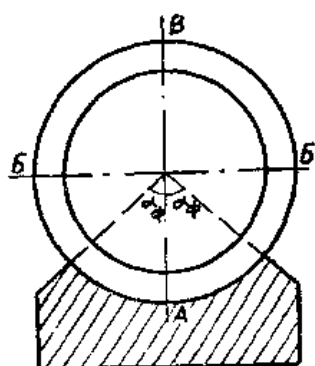


圖8 刚性座墊

3. 按照涵管的剛度分类

大家都知道，涵管周圍的土壤，對於涵管來說，不僅是作用於其上的荷載，而且也是涵管在其中發生變形的介質。任何地下建築物，當其由於主動外荷載引起變形時，將在不同程度上受到來自周圍彈性介質（土壤）的彈性抗力。

按照溫克勒(Winkler)的假設，彈性抗力的大小將取決於結構物的變形與周圍彈性介質（土壤）的地基系數。[●]土壤地基系數與其物理特征有關（對於回填土來說，最主要的是它的密實度）；而變形值的大小將主要決定於結構物的剛度。因此，涵管剛度的大小，不僅會直接影響土壤作用於涵管上主動外荷載的數值（例如上埋式垂直土壓力等），同時對於能否發生具有實際計算意義的彈性抗力問題，也將起着決定性的作用。

現以圓形涵管為例，假如管體剛度很大時，其兩側土壤將以主動土壓力形式作用於涵管上；而基底土壤，僅是做為涵管的支點以平衡主動外荷載而已。反之，涵管橫向剛度不大時，則由於主動外荷載的作用，管側將發生橫向擴張（即此時圓形水管將變成橢圓橫斷面的形

● 參見第二章第十一節。

狀)，于是管壁即受到来自同填土的抗力而發生相反的变形，所以涵管最后的变形与弯矩值均將减小。

質言之，涵管兩側同填土夯突越密实，而管体的剛度越小，則对涵管的工作条件越为有利。

根据涵管剛度的大小，可以將它分成下列兩大类：

I. 剛性涵管：

假設涵管是屬於絕對剛性的，忽視其变形。在实用上这已足够准确。一般石棉水泥管、鑄鐵管以及磚石、混凝土和小孔徑鋼筋混凝土涵管多屬於剛性涵管范畴。

II. 柔性涵管：

各种直徑的鋼管和普通大孔徑的鋼筋混凝土涵管多屬於柔性涵管的类型。此时，不能忽略变形对涵管内力值的影响。

但是，目前在理論上划分剛性涵管及柔性涵管的問題，还没有得到完滿的解决。問題的癥結所在，当然不是决定涵管本身的剛度問題，而是在于如何正确解决涵管的剛度与周圍彈性介質（土壤）間相互作用的关系問題。在这一方面，我們認為苏联技术科学博士Г.К. 克列恩（Клейн）按照第三章公式(225)解决圓形涵管的分类标准的方法，是簡捷可行的。

既然柔性涵管較之剛性涵管在靜力工作条件上更为有利，为了从構造上显著地提高涵管的柔度，并从而充分發揮周圍介質的彈性抗力作用，苏联A.K. 高榛娜(Годына)曾提出鉸式涵洞(圖9)的新型結構

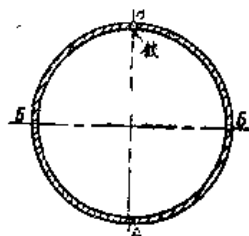


圖9 鉸式涵洞示意圖

方案。根据苏联在公路上使用的經驗証明：鉸式涵洞不仅在造价上較之剛性管节可以节省50%，同时使用狀況亦屬令人滿意。我国也曾經根据高氏著作①設計过这种新型涵管，并用在某些公路堤綫上，但到現在为止，尚未普遍推广。

4. 按照断面形狀分类

I. 圓形涵管：

① 混凝土与鋼筋混凝土鉸式涵洞，中央交通部公路总局譯，人民交通出版社出版。

圓形涵管在均勻內水壓力或外水壓力作用下，管壁將不產生彎矩（這裡系指管壁厚度較小的情形）。另外，洩水能力較高，又宜於在工廠中大規模製造，所以它是國內外最常用涵管的斷面形式。一般在小管徑時，可以用混凝土製做；管徑較大時，多採用鋼筋混凝土。在內水壓力較大時，可以採用預加應力配筋。

Ⅱ. 箱形涵管：

箱形涵管參看圖(223)系指具有矩形或正方形斷面，且四邊封閉的剛構式涵洞。普通多用鋼筋混凝土製造。對於較為松軟的地基土壤常採用之。當孔徑較小時，可在工廠中製造，現場安裝；若孔徑較大時，宜於就地澆注。

蓋板式涵洞〔參看圖(136)〕及三面剛構式涵洞（不封閉式）〔參看圖(219)〕的洩水斷面，通常也是採用矩形或者是正方形。但是兩者僅適宜使用在無壓涵洞中。

Ⅲ. 拱形涵管：

拱形涵管（圖10,a）適用於土壤垂直壓力大而主動側壓力小的情況下。多用磚、石材料砌築。使用在無壓涵洞中。

Ⅳ. 卵形涵管：

卵形涵管（圖10,b）主要在排水管道中使用。因為它的流速是不變的，且與積水深度無關。但由於形狀複雜，施工困難，目前國內很少使用。

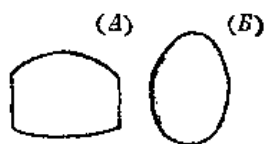


圖10 拱形(A)及卵形(B)涵管斷面示意圖

Ⅴ. 其他形狀的涵管：對於利用竹、木材料構成的涵管，有時做成三角形或梯形，但竹、木易於腐蝕，使用前須用防腐劑浸潤處理。

5. 按照水力性質分類

Ⅰ. 有壓涵管：

利用涵管整個斷面洩水，同時具有一定的壓頭。因此，在通過同一流量時，所需孔徑較無壓涵管為小（有壓涵洞系屬管嘴洩水性質，面無壓涵洞則屬於寬坎水堰性質）。但對於抗裂性的要求，應較無壓涵管為高。一般水電站導管、給水管以及河渠堤岸中所埋置的涵管多屬之。最常見的為圓形斷面，有時也採用箱形斷面。